

УДК 621.91

А.Є. Дячун¹, канд. техн. наук, доц.; І.С. Яким² канд. техн. наук;

Ю.Б. Капаціла¹, канд. техн. наук, доц.

¹Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

²Виконавчий комітет Дрогобицької міської ради, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ СВЕРДЛА В ПРОЦЕСІ СВЕРДЛІННЯ ОТВОРІВ В МЕТАЛАХ ІЗ ЗМІННОЮ ТВЕРДІСТЮ

**A. Diachun, Ph.D., Assoc. Prof.; I. Yakym, Ph.D.; Yu. Kapatsila Ph.D., Assoc. Prof.
THE RESEARCH OF DRILL BIT DEFORMATION DURING THE HOLES
DRILLING PROCESS IN METALS WITH VARIABLE HARDNESS**

Деформація свердла в процесі свердління на вертикально-свердильному верстаті призводить до виникнення неприпустимих відхилень діаметрів оброблених отворів, тому дослідження цього процесу є важливою задачею. Основними причинами деформації свердла є: недосконалість конструкції інструмента, його ріжучих і направляючих елементів; неправильна подача інструменту на початку свердління; неправильно вибрані режими різання; неоднорідність матеріалу оброблюваної деталі; втрата стійкості свердла в процесі різання; неоднорідне затуплення ріжучих кромek свердла.

Перші три причини носять систематичний характер і можуть бути легко усунені. Решта причин потребують більш детального вивчення, тому що їх поява носить випадковий характер.

В процесі експериментальних досліджень поперечних січень деталі в місці отвору встановлено існування структурної неоднорідності матеріалу, зокрема його твердості, яка залежить від способу формування заготовки та термохімічної обробки. Поперечна різотвердість заготовки у місці свердління отвору залежить від впливу легуючих елементів, а також від градієнту твердості заготовки вздовж вісі отвору. Чим більший градієнт поздовжньої твердості, тим більша поперечна різотвердість заготовки $\Delta HRC = HRC_1 - HRC_2$, де HRC_1 , HRC_2 - відповідно найбільша і найменша твердість заготовки на одній площині, що перпендикулярна вісі отвору.

Вказані вище причини призводять до виникнення невірноваженої радіальної сили різання ΔP_y , що підсилюється дією осової сили різання P_o . В наслідок чого відбуваються пружні деформації осі свердла та розбиття оброблюваного отвору.

Для свердла при статичному навантаженні диференціальне рівняння пружної лінії деформації має наступний вигляд:

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = \int_x^l \Delta P_y dx - \int_x^l \left(k_1 \left(\frac{(HRC_{\max} - HRC_{\min}) \cdot (H - (x + C))}{H} + HRC_{\min} \right) \cdot k_2 y \right) dx dx - P_o y, \quad (1)$$

де E – модуль пружності матеріалу свердла; I – момент інерції поперечного перерізу свердла в робочій частині; k_1 – коефіцієнт, який враховує вплив твердості матеріалу поверхні отвору на його опір деформації; k_2 – коефіцієнт, який враховує опір деформації матеріалу поверхні отвору; HRC_{\max} – максимальна твердість поверхні оброблюваного отвору вздовж вісі x ; HRC_{\min} – мінімальна твердість поверхні оброблюваного отвору вздовж вісі x ; H – глибина отвору; C – вільна частина свердла; l – довжина свердла.

Оскільки диференціальне рівняння (1) є досить складним, проведено його точний розв'язок за допомогою числового методу. Результати розв'язку представлено у вигляді графіків на рис. 1.

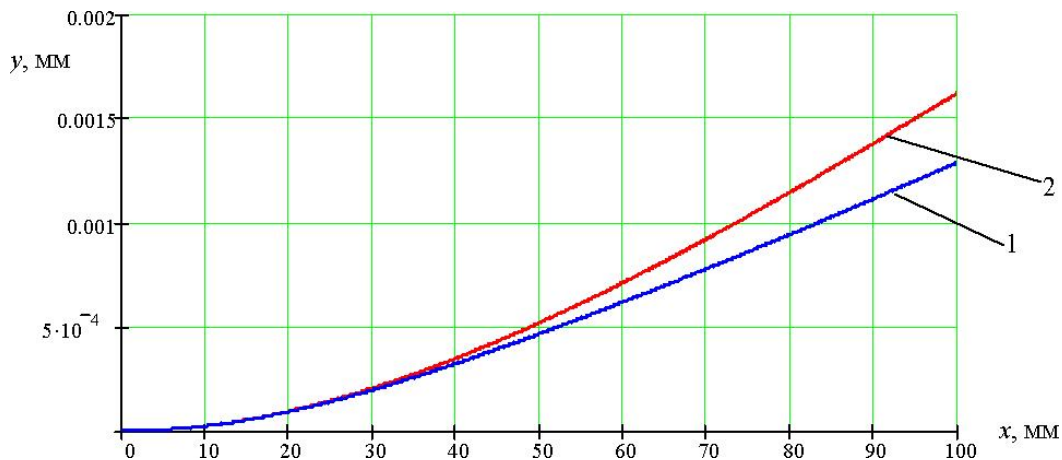


Рисунок 1 – Графіки залежності величини деформації свердла діаметром 10 мм довжиною $l=100$ мм в процесі свердління в сталі:

1) $HRC_{\max} = 43$, $HRC_{\min} = 35$; 2) $HRC_{\max} = 38$, $HRC_{\min} = 35$

В процесі експериментальних досліджень встановлено, що динамічні характеристики процесу свердління також мають вплив на величину деформації свердла, тобто є доцільним дослідження поперечних коливань свердла. З цією метою на основі розрахункової схеми, в якій враховане змінне значення твердості матеріалу по всій глибині отвору, диференціальне рівняння руху елемента свердла довжиною dx має вигляд:

$$-P_0 \sin \theta_1 - \frac{\partial Q}{\partial x} dx + \left(P_0 + \frac{\partial P_0}{\partial x} dx \right) \sin \theta_2 + \omega^2 y m(x) dx + \Delta P_y dx - \int_x^l q(HRC, y, x) dx dx = m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} dx, \quad (2)$$

де P_0 - осьова сила різання, ΔP_y - невірноважена радіальна сила різання, $Q(x)$ - перерізує зусилля, $m(x)$ - погонна маса свердла вздовж вісі x , ω - постійна кутова частота обертання свердла, θ_1 - кут нахилу, який утворює з віссю Ox дотична до середньої лінії нормальних перерізів свердла з координатою x ; θ_2 - кут нахилу, який утворює з віссю Ox дотична до середньої лінії нормальних перерізів свердла з координатою $x-dx$; $q(HRC, y, x)$ - опір деформації поверхні отвору.

Після перетворення рівняння (2) одержано:

$$-EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + P_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \omega^2 y m(x) + \Delta P_y - \int_x^l q(HRC, y, x) dx = m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}. \quad (3)$$

Розв'язок диференціального рівняння (3) проведено поєднанням методів розділення змінних та чисельного методу Рунге-Кутта. Рівняння (3) задовольняє однорідні граничні умови: $y(0, t) = 0$; $y(\mu l, t) = 0$ та початкові умови: $y(x, 0) = 0$; $y'(x, 0) = \omega R$, де R - радіус свердла, μ - коефіцієнт довжини, що залежить від способу закріплення свердла, при цьому добуток μl - приведена довжина свердла. Результати розв'язку представлено у вигляді графіків, із яких можна побачити, що збільшення довжини свердла l та радіальної сили різання ΔP_y призводить до зростання величини деформації свердла та розбиття отворів.